

大型结构件数控加工厂房的 通风空调系统

中国航空规划建设发展有限公司 赵雷昌[☆]

摘要 针对数控厂房体量大、金属加工液污染源分散的特点,提出了分层空调+周围捕获的方案。分别对重污染机床未隔离和隔离时厂房内的气雾浓度进行了分析计算,其结论验证了污染物的周围捕获效果优于集中捕获。采用分层空调+周围捕获方案能有效地清除厂房内的污染物。

关键词 大型数控厂房 金属加工液 气雾浓度 集中捕获 周围捕获 分层空调

Ventilation and air conditioning system for large part numerical control machining buildings

By Zhao Leichang[★]

Abstract In view of the characteristics of large space and dispersed pollutant sources of metal machining fluid, proposes a ventilation and air conditioning system scheme, i. e. stratified air conditioning plus peripheral collecting. Analyses and calculates the smog concentration in a machining building respectively on the conditions of isolated and non-isolated heavy pollution source machines, and the results prove that the effect of peripheral collecting is superior to that of centralized collecting. The effect of the scheme of stratified air conditioning plus peripheral collecting is satisfactory.

Keywords large-scale numerical control machining building, metal machining fluid, smog concentration, centralized collecting, peripheral collecting, stratified air conditioning

★ China Aviation Planning and Construction Development Co., Ltd., Beijing, China

①

0 引言

数控加工是机械加工的一种精加工,具有技术含量高、精密度高、附加值高等特点。在早期数控厂房的设计中,只对数控厂房设置了全室换气系统,由于其中的数控机床数量少、主轴转速低(6 000 r/min 以下),厂房内通风效果良好,没有明显异味。

随着数控加工技术的飞速发展,数控加工机床的主轴转速超过 20 000 r/min,机床设备控制复杂,总安装功率也相应增加,设备发热量大。在现阶段数控厂房的建设中,由于上述原因,开始对数控厂房设置舒适性空调系统。由于数控厂房建筑面积近 1 万 m²,层高 10~12 mm,对此类型厂房通常采用分层空调系统,下部空调区域高 6 m,气流组织为两侧喷口对吹,空调区域换气次数 $n=5\sim6$

h^{-1} ;在上部通风区侧墙设置电动防沙、防雨百叶窗,屋顶设置机械通风机,非空调区域的换气次数 $n=1\sim2 h^{-1}$ 。

但在厂房使用过程中,逐渐发现了一些问题。由于机床主轴转速高,需要喷淋冷却液进行冷却,冷却液遇热挥发至室内空气中,在分层空调的运行条件下,厂房内弥漫着烟雾状气体,可以明显嗅到空气中有刺激性气味,放眼望去整个车间被轻微雾气笼罩。长期在此环境下工作,工作人员精神不易集中,易影响工作效率。

①☆ 赵雷昌,男,1981 年 5 月生,大学,工程师,注册公用设备工程师

100120 北京市西城区德外大街 12 号

(010) 62038237

E-mail: zlcchangcn@gmail.com

收稿日期:2009-10-30

修回日期:2010-03-09

在已保证机床生产所需温度下,消除厂房内雾状气体污染及不适气味,已上升为在此类工程中本专业首先需要解决的问题。为了在拟建、新建数控厂房中避免类似问题的产生,笔者对此作了详细分析,并提出了解决方案。

1 问题分析

1.1 成雾机理

数控机床在高速切削过程中,有大量的热量产生,必须用冷却液及润滑液为其降温、润滑,才能正常工作,这些冷却液及润滑液统称为金属加工液。目前国内航空系统中采用的金属加工液的乳化液大多为人工合成品,其成分极为复杂,且含有大量添加剂。在实际使用中,金属加工液是由乳化液和水按一定的配比合成的^①。在金属加工液喷向高速旋转刀具时,主要靠冲击碰撞、离心力及蒸发/凝结等共同作用进行冷却,加工液的液滴会弥漫于空气中,同时还夹杂有数控加工过程中形成的金属颗粒物及尘埃,这些是厂房内气雾结核物质的主要组成部分。在此过程中,水分也迅速汽化挥发至室内空气中,在上升的过程中遇冷凝结,形成轻微的雾气,滞留在室内。夏季空调系统空气处理机组吹出的冷气流更加剧了气雾的形成。这与自然界中的春秋清晨雾气朦胧十分类似。

乳化液本身多为无味膏状液体,有的厂家的产品也会有轻微气味。金属加工液暴露在空气中,极易滋生细菌、真菌及其他代谢物,厂房内弥漫的异味实际上是这些变质乳化液的气味。

金属加工液的最佳治理方式应为从源头处理,即数控机床做成封闭式,自带金属加工液回收或净化装置,气流内部循环处理。这样处理设备的净化效率高,也没有加工液液滴扩散至厂房内。但由于加工件体积巨大,质量达到数百甚至上千 kg,零件的搬移、加工定位主要靠设置在屋顶的吊车。机床做成封闭式的成本很大,且不易实现。在此情况下,对厂房内污染的处理只能变成了“先污染、再治理”的被动处理方式。

1.2 产品选择

为了寻找适合通风处理的净化设备,笔者参观了国内一些净化设备厂和用户,最终确定选用某合资厂家的电子空气净化机。它采用静电吸附原理,

① 按照金属加工液的不同用处,其配比也不同。一般为 1:10~1:30。本工程中,金属加工液配比为 1:20。

能有效地去除烟雾、烟尘,油/冷却剂烟雾和雾气。与一般基于滤网的除尘设备相比,具有颗粒直径适用范围广的特点。这一点特别适合于数控厂房内气雾液滴直径随温度和湿度变化的特点。

2 通风、空调方案的分析

2.1 方案确定

根据生产要求,同时结合厂房特点,确定拟建、新建数控加工区的室内温度低于 28℃。数控加工区通风、空调设计的目标为

- 1) 保证机床工作时的温度需求;
- 2) 向工作人员提供良好的工作环境,即消除室内雾状气体和异味;
- 3) 基于以上两点,最大限度地节约能量。

经多方案分析、比较,最终采用“分层空调+周围捕获”方案^[1],并将之应用于拟建、新建数控厂房,原理图见图 1。厂房空调方案为分层空调,空气处理机组放置于数控加工区的钢平台上,其除尘

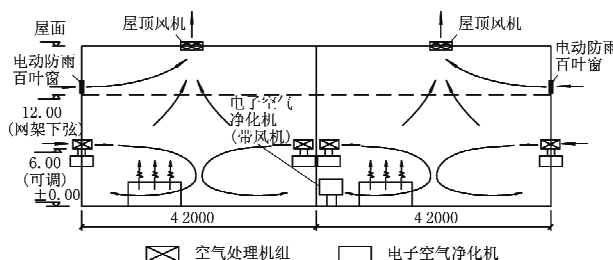


图 1 数控厂房“分层空调+周围捕获”原理图

系统方面采取的主要措施为

- 1) 集中捕获:在空调系统中的空气处理机后串接一段电子净化段(含活性炭过滤器),利用空调的全室空气循环实现对空气中污染物的循环处理;
- 2) 周围捕获:在加工液消耗量大的数控机床附近和雾气明显的地方,设置自循环电子空气净化机(含活性炭过滤器)。

活性炭主要作用为去除空气中的异味。

2.2 主要参数

厂房采用分层空调系统,空调送风口布置在 6.0 m 标高,气流组织采用侧送、侧下回。整个厂房沿四周共布 51 台卧式空气处理机组,其中 5 台为新风机组,46 台为全循环机组,每台机组送风量 12 000 m³/h,总循环风量共计 552 000 m³/h,折合空调区域换气次数约为 6.3 h⁻¹;总新风量共计 60 000 m³/h,折合空调区域换气次数约为 0.7 h⁻¹。上部非空调区域共设置 56 台屋顶风机,每台

排风量为 $6\,887\text{ m}^3/\text{h}$, 总排风量共计约 $386\,000\text{ m}^3/\text{h}$, 折合非空调区域换气次数约为 2.9 h^{-1} 。

整个厂房共布置 48 台自循环电子空气净化机, 其总风量共计 $96\,000\text{ m}^3/\text{h}$, 折合空调区域换气次数约为 1.4 h^{-1} 。

2.3 厂房内气雾浓度计算

在实际生产情况下, 厂房平面上产生的气雾是不均匀的, 局部重污染数控机床产生的气雾的浓度占整个厂房气雾浓度的比例较大, 将自循环电子空气净化机就近放置于重污染数控机床, 有利于清除气雾。对于该新建厂房, 其建筑大开间面积超过 1 万 m^2 , 其中重污染机床占数控机床数量的 16% , 但其气雾产生量占总量的 30% 。考虑到生产中形成的气雾浓度的不均匀性, 将此部分重污染机床和整个厂房用隔板分开, 更有利于厂房内气雾的处理, 因此在“分层空调+周围捕获”的方案下, 对重污染机床在未隔离和隔离两种工况下分别进行计算。

2.3.1 重污染机床未隔离时厂房内气雾浓度计算

为了简化计算, 作以下假设:

1) 厂房内四周围护结构密闭良好, 不考虑由温度不同引起的空气密度差异, 厂房内空气质量守恒, 即进入厂房的新风量和屋顶风机的机械排风量相等。

2) 循环处理机组内嵌的电子净化段的净化效率为 80% , 自循环电子空气净化机的净化效率为 99.99% , 近似为 100% , 自循环电子空气净化机送风的气雾质量分数为 $0^{\text{①}}$ 。

3) 新风机组的送风气雾质量分数为 0 。

4) 夏季分层空调系统运行时, 在厂房下部空调区域内, 各处的气雾浓度相等, 不考虑水平方向和高度方向上的浓度差异; 在冬季侧墙上电动百叶窗关闭、屋顶排风机部分运行情况下, 整个厂房内各处的气雾浓度相等, 不考虑水平方向和高度方向上的浓度差异。

根据上述假设条件, 当厂房内达到动态平衡状态, 即气雾的产生速度与捕获速度相等时, 建立平衡公式如下:

$$S + Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + Q_3 C_3 = Q_1 C_p + Q_2 C_p + Q_3 C_p \quad (1)$$

① 净化效率的取值主要根据设备样本中风量和效率间关系确定。在现场条件下的设备除尘效率缺乏实验数据, 故参考样本中数据。

式中 S 为气雾产生的速度, 11.93 g/s ; Q_1 为循环处理机组送风量, 工作时为 184 kg/s , 不工作时为 0 ; C_1 为循环处理机组送风气雾质量分数, g/kg ; Q_2 为自循环电子空气净化机的风量, 工作时为 32 kg/s , 不工作时为 0 ; C_2 为自循环电子空气净化机送风气雾质量分数, 为 0 ; Q_3 为新风机组送入厂房的新风量, kg/s ; C_3 为新风中气雾质量分数, 为 0 ; C_p 为回风气雾质量分数, 也即平衡时厂房内的气雾质量分数, g/kg 。

由循环处理机组的净化效率为 80% 可知: $C_1 = 0.2C_p$ 。

根据以上条件, 分情况计算。

1) 只有新风机组工作时

条件为: $S = 11.93\text{ g/s}$, $Q_1 = 0\text{ kg/s}$, $Q_2 = 0$, $C_2 = 0$, $Q_3 = 20\text{ kg/s}$, $C_3 = 0$, 计算得: $C_p = 0.597\text{ g/kg}$ (35.8 mg/m^3)。

2) 新风机组、循环处理机组及自循环电子空气净化机联合工作时

条件为: $S = 11.93\text{ g/s}$, $Q_1 = 184\text{ kg/s}$, $Q_2 = 32\text{ kg/s}$, $C_2 = 0$, $Q_3 = 20\text{ kg/s}$, $C_3 = 0$, 计算得: $C_p = 0.060\text{ g/kg}$ (3.6 mg/m^3)。

2.3.2 重污染机床隔离时厂房内气雾浓度计算

在上节假设 4) 中, 假设把重污染数控机床及自循环电子空气净化机与四周及顶部用隔板隔开 (以下简称为隔离区), 区域内视为气雾浓度同一区域; 空调区域内隔离区外也视为气雾浓度同一区域。在各自区域内不考虑水平方向和高度方向上的浓度差异。在各自区域内, 当达到动态平衡后, 平衡公式为

$$S_1 + Q_1 C_1 + Q_3 C_3 = Q_1 C_{p1} + Q_3 C_{p1} \quad (2)$$

$$S_2 + Q_2 C_2 = Q_2 C_{p2} \quad (3)$$

式(2), (3)中 S_1 为空调区域内除隔离区外气雾产生的速度, 8.35 g/s ; C_{p1} 为平衡时空调区域内除隔离区外的气雾质量分数, g/kg ; S_2 为隔离区内气雾产生的速度, 3.58 g/s ; C_{p2} 为平衡时隔离区内的气雾质量分数, g/kg 。

由循环处理机组的净化效率为 80% 可知: $C_1 = 0.2C_{p1}$ 。

1) 根据以上假设条件, 计算条件为:

$S_1 = 8.35\text{ g/s}$, $Q_1 = 184\text{ kg/s}$, $C_1 = 0.2C_{p1}$, $Q_3 = 20\text{ kg/s}$, $C_3 = 0$, 计算得空调区域内除隔离区外平衡浓度为 $C_{p1} = 0.050\text{ g/kg}$ (3.0 mg/m^3)。

2) 计算条件为:

$S_2 = 3.58 \text{ g/s}$, $Q_2 = 32 \text{ kg/s}$, $C_2 = 0$, 计算得隔离区内平衡浓度为 $C_{p2} = 0.112 \text{ g/kg}$ (6.7 mg/m^3)。

2.3.3 过渡季节室内浓度计算

在过渡季节,为了减少空调能耗,在满足工艺室内要求的前提下,可以只开启屋顶通风机对室内进行通风。假设厂房内各处的气雾浓度相等,不考虑水平方向和高度方向上的浓度差异,此时进入厂房的补风量和屋顶风机的机械排风量相等。当室内达到动态平衡后,建立以下平衡公式:

$$S + Q_3 C_3 = Q_3 C_p \quad (4)$$

只运行屋顶排风系统,条件为 $S = 11.93 \text{ g/s}$, $Q_3 = 129 \text{ kg/s}$, $C_3 = 0$, 计算得厂房内平衡浓度为 $C_p = 0.092 \text{ g/kg}$ (5.5 mg/m^3)。

考虑到金属加工液中原液成分只占 5% 左右,可以得出在以上工况下,气雾中金属加工液原液的质量浓度值(括号内数值,空气密度按 1.2 kg/m^3 计)。

2.4 计算结果分析

1) 根据重污染机床未隔离时的计算结果,当满足工艺对厂房内温度要求时,只开启新风系统和空气处理机组对室内进行降温处理,不开启电子空气净化机及自循环电子空气净化机,厂房内气雾平衡质量浓度为 35.8 mg/m^3 ;当新风系统、循环处理机组及自循环电子空气净化机联合工作时,厂房内气雾平衡质量浓度为 3.6 mg/m^3 。由此可见,本系统中电子空气净化机除尘系统投入运行后,厂房内气雾浓度可降低至电子空气净化机未运行前厂房内浓度的 10%。

2) 空气污染物处理最佳方式是源头捕获,其次为周围捕获,最不利为集中捕获。式(2),(3)就是假设污染物周围捕获建立的模型。在假设隔离区和周围有隔板隔开时,周围捕获可再将空调区域隔离区外气雾平衡质量浓度处理至 3.0 mg/m^3 ,较集中捕获时降低 16.7%。但在实际无隔板情况下,隔离区内、外存在气流交换,这使得隔离区内气雾质量浓度低于 6.7 mg/m^3 ,隔离区外高于 3.0 mg/m^3 ,但低于 3.6 mg/m^3 。这符合实际情况,即靠近重污染数控机床周边区域气雾浓度高、远离则气雾浓度低。在金属加工液仅 30% 周围捕获的情

况下,空调区域内气雾浓度的下降,也从数据上验证了周围捕获优于集中捕获。

3) 夏季分层空调运行时,上部非空调区域的排风量增加并不能有效地降低下部空调区域的金属加工液的气雾浓度。从本例中可以看出,非空调区域屋顶排风机排风量 129 kg/s ,其中包含的金属加工液气雾量只是由空调区域转移到非空调区域的渗透风量(20 kg/s)中包含的金属加工液气雾量,而且下部空调区域的气流组织也对金属加工液气雾的上升起抑制作用。因此上部非空调区域的进、排风量只是对空调区域转移到非空调区域的含气雾风量的稀释。但是在过渡季节,仅运行屋顶排风机时,仍可以把厂房内气雾质量浓度降低至 5.5 mg/m^3 。在厂房内工艺不要求温度或室外温度合适的情况下,为了节约运行费用,可以只开启屋顶排风机,同样可以在厂房内形成一个较低的气雾浓度环境。

4) 目前,国内还没有关于金属加工液气雾浓度限值的国家规范及室内环境标准^[2-3],也没有在多少浓度下长时间工作会引起疾病的研究。根据美国相关资料的介绍^[4],长时间暴露在金属加工液气雾环境下工作会引起呼吸道及皮肤的一系列疾病,并且建议总液滴质量浓度低于 0.5 mg/m^3 (下文简称建议值)。根据计算,在新风机组、循环处理机组及自循环电子空气净化机联合工作时,厂房内浓度为 $3.0 \sim 3.6 \text{ mg/m}^3$,约为此建议值的 6~7 倍。本次计算所依据的金属加工液气雾小时产生量,是根据同类型厂房中数控机床的使用量得出的一个经验值。在实际生产中,数控机床工作产生的金属加工液气雾量和机床封闭情况、大型结构件加工精度及生产频率、金属加工液消耗情况密切相关,很难有一个精确数值。另外,此建议值是否可以在国内适用,是否符合我国现阶段大型数控厂房中数控机床情况,尚需更多的研究和更多数据的积累。

3 结论

3.1 在高大空间室内只在下部有舒适性要求的情况下,采用分层空调无疑是个较优方案,但同时空调的冷气流会强化室内气雾的产生。本文提出了一个在保证室温的情况下,对室内污染物进行处理

(下转第 6 页)